

**ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN LAS  
ALUMINIUM DENGAN VARIASI *FILLER* MENGGUNAKAN METODE  
*FRICTION STIR WELDING* (FSW)**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**EKO KRISTIANTO**

**D 200 150 012**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

**2017**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN LAS  
ALUMINIUM DENGAN VARIASI *FILLER* MENGGUNAKAN METODE  
*FRICTION STIR WELDING* (FSW)**

**PUBLIKASI ILMIAH**

oleh:

**EKO KRISTIANTO**

**D 200 150 012**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen

Pembimbing



**Agus Dwi Anggono, ST., M.Eng., Ph.D**

**NIDN.0617067602**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN LAS  
ALUMINIUM DENGAN VARIASI *FILLER* MENGGUNAKAN METODE  
*FRICTION STIR WELDING* (FSW)**

**OLEH**

**EKO KRISTIANTO**

**D 200 150 012**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Rabu, 12 April 2017  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

**Dewan Penguji:**

**1. Agus Dwi Anggono, ST., M.Eng., Ph.D.**



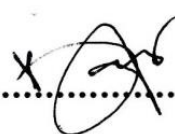
**(Ketua Dewan Penguji)**

**2. Tri Widodo B.R., ST., MSc., Ph.D.**

**(Anggota I Dewan Penguji)**

**3. Patna Partono, ST., MT.**

**(Anggota II Dewan Penguji)**

(..........)  
(..........)  
(..........)

**Dekan,**



**Ir. Sri Sunarjono, MT., Ph.D**

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

**Surakarta, 12 April 2017**

Penulis



**EKO KRISTIANTO**

**D 200 150 012**

# ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN LAS ALUMINIUM DENGAN VARIASI *FILLER* MENGGUNAKAN METODE *FRICTION STIR WELDING* (FSW)

## Abstrak

Penelitian dalam hal penyambungan aluminium paduan terus ditingkatkan, agar dalam proses penyambungannya menjadi lebih mudah dan untuk meningkatkan kekuatan tariknya. Proses penyambungan aluminium paduan salah satunya dapat dilakukan dengan cara pengelasan *Friction stir welding* (FSW). Tujuan utama dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui lebih jelas mengenai struktur mikro dan sifat mekanik dari spesimen. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium paduan seri 6061-T6. Dalam proses ini, digunakan material *filler* dari pelat kuningan dan pelat seng. Oleh karena itu, variasi dari spesimennya adalah FSW dengan *filler* dan tanpa *filler*. Data dari hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa pada pengelasan FSW aluminium 6061-T6 tanpa menggunakan *filler* memiliki kekuatan tarik yang lebih baik bila dibandingkan dengan pengelasan menggunakan *filler* yaitu sebesar 152,2633 MPa dengan nilai regangannya adalah 3,3733 %. Data dari pengujian kekerasan, pengelasan FSW tanpa *filler* mengalami penurunan kekerasan pada daerah *weld nugget* nya sebesar 53,1 HV sedangkan pada pengelasan FSW dengan *filler* mengalami peningkatan kekerasan pada daerah *weld nugget* nya sebesar 82,8 HV pada pengelasan *filler* kuningan dan 122,1 HV pada pengelasan *filler* seng. Selain itu, pada pengujian kekerasan ini juga menunjukkan bahwa pada pengelasan FSW dengan *filler* dapat memperluas daerah HAZ. Apabila dilihat dari pengujian foto mikro, pengelasan FSW aluminium 6061-T6 tanpa *filler* pada daerah *weld nugget* nya terlihat adanya butiran-butiran halus. Sedangkan pada pengelasan FSW aluminium 6061-T6 dengan menggunakan *filler* ditemukan adanya butiran-butiran *filler* yang tersebar kedalam matrik aluminium yang membentuk struktur komposit.

**Kata kunci :** *friction stir welding*, aluminium 6061-T6, *friction stir welding* dengan *Filler*.

## Abstrack

*The research topic of aluminium alloys joinning techniques have been improved to optimize the process and to increase the tensile strength. The joinning process of aluminium alloys can be conducted by using Friction Stir Welding (FSW). The research objective was to investigate the mechanics structures of tensile strength of FSW and to see the micro structure of the specimens. The material used in the research was aluminium alloy 6061-T6 series. In this process, it will be used filler mateials of brass and zinc plate. Therefore, the specimens variations were FSW with filler and without filler. According to the tensile test, the FSW welding of aluminium alloy 6061-T6 without filler was delivered the highest tensile strength compared with specimen using filler material. It was delivered 152.2633 MPa of tensile strengt and strain of 3.3733%. From the hardness test, the specimen of FSW without filler was given lower hardness compared with the base metal in the weld nugget. It was 53.1 HV. While the specimen with filler material was delivered hardness higher than without filler. It was 82.8 HV for the brass filler and 122.1 HV for the zinc filler. According to the hardness experiment, it can be seen that the use of filler material during FSW process can increase the HAZ*

*area. The weld nugget of FSW without filler was seen smooth grain size in photo micro. While the specimen of FSW with filler material was generated bigger grain size which was distributed in aluminium matrix and develop composite structure.*

**Keywords:** *friction stir welding, aluminum 6061-T6, friction stir welding with filler.*

## 1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur di era sekarang dihadapkan pada tuntutan yang cukup berat. Peningkatan akan kualitas dan kuantitas serta persaingan industri yang ketat menuntut kebutuhan akan teknik baru yang bisa mengakomodir semua tuntutan. Teknik pengelasan banyak diaplikasikan dalam proses penyambungan karena karakteristiknya yang lebih ringan dan prosesnya yang relatif sederhana, sehingga biaya yang diperlukan relatif lebih murah.

Dalam rangka meningkatkan akan kualitas dan kuantitas maka dilakukan pengembangan dalam proses pengelasan *Solid State Welding* (SSW) yang dikenal sebagai metode *Friction Stir Welding* (FSW). Efisiensi pengelasan umumnya ditemui dalam kasus FSW, dalam hal ini sangat logis untuk menanyakan apakah penggunaan logam pengisi dalam FSW dapat memiliki efek yang menguntungkan yang sama seperti dalam kasus proses *fusion welding*. Namun, karena ketidaksesuaian dalam sifat mekanik dari *filler* yang berbeda dan logam dasar, FSW melibatkan *filler* logam yang berbeda dapat menimbulkan tantangan tambahan dan bahkan kompromi kelayakan proses penyambungan. Tantangan-tantangan ini akan dibahas dalam karya ini.

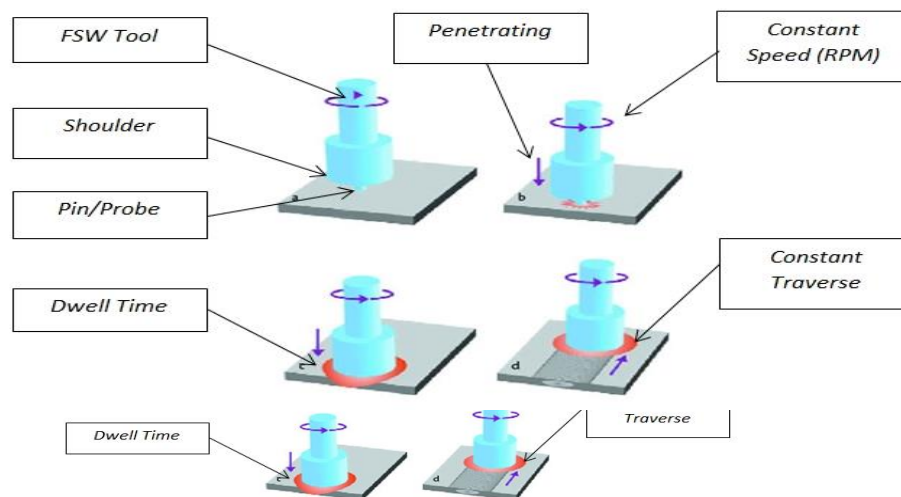
Qixian Zheng dkk (2016), meneliti hasil pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) antara 6061 Al dan 316 *stainless steel* menggunakan Zn sebagai logam pengisi. Pada pengelasan dengan metode *lap joint*, Zn *foil* sebagai logam pengisi menunjukkan kekuatan yang lebih baik dari pada sambungan tanpa logam pengisi.

K. Tejonadha Babu dkk (2014), melakukan penelitian tentang *Friction stir butt welding* pada AA6061 menggunakan aluminium murni sebagai pelat *filler*. Pengelasan menggunakan pelat *filler* menunjukkan penurunan 13% dari kekerasannya. Sedangkan kekuatan tarik dari sambungan menggunakan pelat *filler* mencapai 60% dari kekuatan tarik *base metal*.

Binbin Kuang dkk (2014), meneliti tentang *Friction Stir Lap Welding* pada material yang berbeda Al 1A99 dan Cu murni menggunakan Zn sebagai logam pengisi dengan "*pinless*" sebagai konfigurasi *tool*. Dalam penelitian ini, peningkatan *microhardness* terjadi di sisi Cu yang disebabkan oleh interdifusi dan ekstrusi pada sisi Al. Kesuksesan pengelasan dapat dihasilkan pada kecepatan putar 1600 rpm dan kecepatan melintasi 20 mm / min, yang menunjukkan kekuatan gabungan tertinggi, dan tidak ada *weld keyhole*.

A. Esmaeili dkk (2011), melakukan studi metalurgi dan mekanik pada *Friction Stir Welding* (FSW) yang berbeda dari aluminium 1050 dan kuningan (CuZn30). Kekuatan tarik akhir maksimum sambungan yang telah dicapai dalam penelitian ini adalah 80% dari logam dasar (aluminium).

*Friction Stir Welding* (FSW) merupakan proses penyambungan dua material logam maupun non logam tanpa melewati titik lebur benda kerja dan digunakan untuk aplikasi dimana kebutuhan akan perubahan karakteristik dasar dari benda kerja bisa diminimalisir sekecil mungkin. Dalam FSW, *tool* berputar dan bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang jalur sambungan antara dua material yang dilas. Gesekan panas (*Frictional Heat*) pada FSW dihasilkan dari gesekan antara *pin/probe* dan *shoulder welding tool* dengan material benda kerja. Panas ini bersamaan dengan panas yang dihasilkan dari proses pengadukan mekanik (*mechanical mixing*) akan menyebabkan material yang diaduk akan melunak tanpa melewati titik leburnya (*melting point*), hal inilah yang memungkinkan *tool* pengelasan bisa bergerak sepanjang jalur pengelasan.



Gambar 1. Prinsip Kerja *Friction Stir Welding* (Polmear I. J., 1995)

Penggunaan logam pengisi pada pengelasan aluminium didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut: pencegahan terhadap retak, tegangan tarik atau geser las dan keuletan las (Mandal, 2005). Penyambungan dengan logam pengisi yang tepat dengan memperhatikan logam induk, akan sangat berpengaruh terhadap sifat fisis dan mekanis. Logam induk aluminium paduan seri Al 6XXX merupakan jenis aluminium yang dapat di proses perlakuan panas. Selain itu, seri Al 6XXX sangat sensitif terhadap retak panas jika komposisi dari logam pengisi mendekati komposisinya (Mandal, 2005).

Aluminium 6061-T6 adalah jenis paduan aluminium-magnesium-silikon. Paduan dalam sistem ini memiliki kekuatan yang lebih kecil dibanding paduan lainnya yang digunakan sebagai bahan tempaan, tetapi sangat liat, sangat baik kemampuan bentuknya untuk penempaan. Aluminium

6061-T6 termasuk dalam kategori *heat treatable*, yang artinya dapat dilakukan penguatan dengan cara *mechanical working* dan *precipitation hardening*.

Untuk mengetahui sifat mekanik yang dihasilkan setelah proses pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) maka diperlukan pengujian-pengujian sebagai berikut :

a. Pengujian Tarik (*Tensile/Tension Test*)

Kekuatan tarik (*tensile strength, ultimate tensile strength*) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah.

Tegangan ( $\sigma$ )

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

$\sigma$  = Tegangan tarik ( N/mm<sup>2</sup> atau MPa)

P = Beban yang diberikan (N)

A<sub>0</sub> = Luas dari penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

Regangan ( $\epsilon$ )

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$\epsilon$  = Regangan (%)

$\Delta L$  = Pertambahan panjang benda uji (mm)

L = Panjang batang uji yang telah diberikan  
pembebanan (mm)

L<sub>0</sub> = Panjang batang uji mula – mula (mm)

Pada penelitian ini dalam melakukan pengujian tarik menggunakan standar dari ASTM E8M.

b. Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan *Vickers* menggunakan indenter piramida intan, besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136 derajat . Ada dua rentang kekuatan yang berbeda, yaitu mikro (10g – 1000g) dan makro (1kg – 100kg).

Harga kekerasan Vickers :

$$VHN = \frac{1,854XP}{d^2} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

VHN= *Vickers Hardness Number* (Harga Kekerasan Vickers)

P = Beban yang diberikan (kgf)

d = Panjang diagonal rata-rata hasil indentasi (mm)



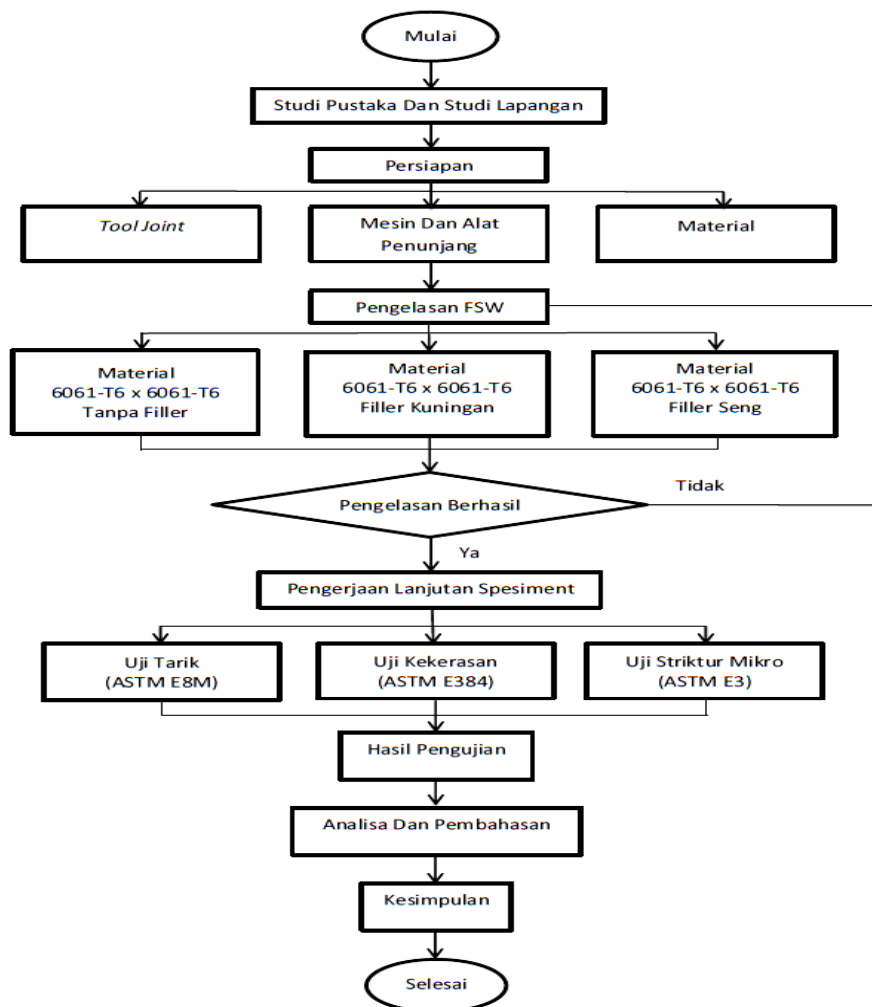
### c. Pengujian Struktur Mikro

Struktur mikro dalam logam (paduan) di tunjukkan dengan besar, bentuk dan orientasi butirannya, jumlah fasa, proporsi dan kelakuan dimana mereka tersusun atau terdistribusi. Adapun beberapa tahap yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian struktur mikro adalah:

- 1) Pemotongan (*Sectioning*).
- 2) Pengamplasan (*Grinding*).
- 3) Pemolesan (*Polishing*).
- 3) Etsa (*Etching*).
- 4) Pemotretan.

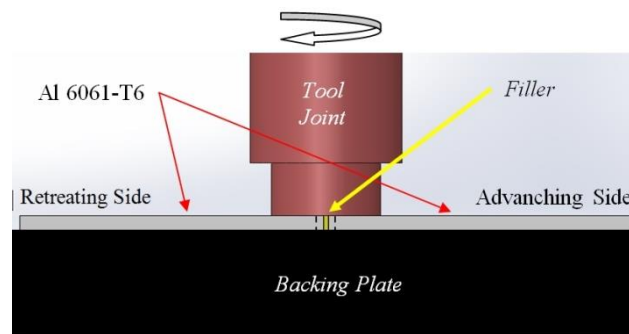
## 2. METODE

Untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi dalam pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) dengan variasi material *filler* yang berbeda, maka diperlukan tahapan penelitian yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

a. Skema Pengelasan



Gambar 3. Skema pengelasan FSW dengan *filler*

b. Alat Penunjang

1. Mesin Milling Konvensional merk *KNUTH WF 4.1*
2. *Backing Plate*
3. *Tool joint* dari material *bohler K100*
4. *Dial indicator* jenis *lever* merk *mitutoyo*
5. *Tool Setter*
6. *Sentrofix*
7. Jangka sorong (*Caliper*) jenis *dial* merk *mitutoyo*
8. *Thermocoupe* merk *Suder SD890C<sup>+</sup>*
9. *Clamping*

c. Alat Pengujian

1. Mesin uji tarik merk *Instron 3367*
2. Mesin uji kekerasan merk *Highwood HWMMT-X7*
3. Mikroskop merk *Olympus* untuk fotomakro dan merk *Euromex Holland* untuk fotomikro

d. Bahan

1. Aluminium Paduan 6061-T6
2. Pelat Kuningan
3. Pelat Seng

e. Proses pengelasan

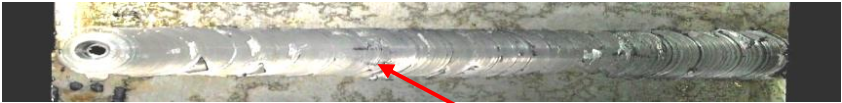


1. Memasang *backing plate* dan spesimen pada meja mesin milling konvensional.
2. Setting posisi *spindle head* dengan sudut  $1^\circ$  (*tilt angle*), *rotational speed* = 1250 rpm dan *feed rate* = 10 mm/menit.
3. Hidupkan mesin milling konvensional.
4. Turunkan *tool joint* dengan menggunakan eretan sumbu Z sesuai dengan jarak *tool setter* hingga ujung *pin/probe* menyentuh permukaan material aluminium.
5. Benamkan *pin/probe* kedalam benda kerja dengan kedalaman 3 mm.
6. Tunggulah  $\pm 20$  detik agar material aluminium menjadi lunak.
7. menghidupkan langkah otomatis pada eretan sumbu X.

8. Mencatat temperatur dari proses pengelasan.
9. Setelah *tool joint* berada diakhir pengelasan, mematikan langkah otomatis.
10. Naikkan *tool joint* dengan menggunakan eretan sumbu Z.
11. Matikan mesin milling konvensional.
12. Lakukan pengecekan kondisi dari *pin/probe*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisis Visual Hasil Pengelasan

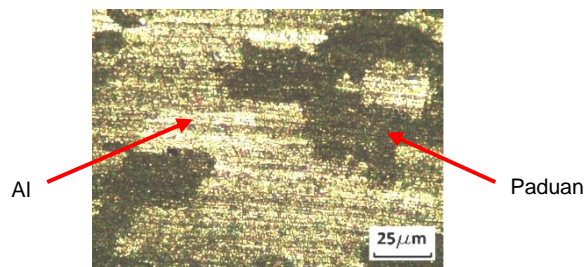
Tabel 1. Hasil Pengelasan *Friction Stir Welding*

1	Pengelasan 6061-T6 x 6061-T6 Tanpa <i>Filler</i>	
	Parameter :	Hasil <i>friction stir welding</i> :
	- Rotational speed : 1250 Rpm - Feed rate : 10 mm/menit - Tilt angle : 1°	- Permukaan Kurang Halus - Pengelasan stabil - Suhu pengelasan $\pm 211.1333\text{ }^{\circ}\text{C}$
		
2	Pengelasan 6061-T6 x 6061-T6 <i>Filler</i> Kuningan	
	Parameter :	Hasil <i>friction stir welding</i> :
	- Rotational speed : 1250 Rpm - Feed rate : 10 mm/menit - Tilt angle : 1° - Depth plunge : 3 mm - Filler : Kuningan	- Weld flash - Permukaan Halus - Pengelasan stabil - Suhu pengelasan $\pm 245.8111\text{ }^{\circ}\text{C}$
		
3	Pengelasan 6061-T6 x 6061-T6 <i>Filler</i> Seng	
	Parameter :	Hasil <i>friction stir welding</i> :
	- Rotational speed : 1250 Rpm - Feed rate : 10 mm/menit - Tilt angle : 1° - Depth plunge : 3 mm	- Weld flash - Permukaan halus - Pengelasan stabil - Suhu pengelasan $\pm 255.9\text{ }^{\circ}\text{C}$
		

Dari ketiga spesimen pengelasan dengan menggunakan metode *Friction Stir Welding* (FSW), secara visual permukaan pengelasan FSW tanpa *filler* memiliki permukaan yang kurang begitu halus bila dibandingkan dengan pengelasan FSW menggunakan *filler*. Hal ini terjadi karena temperatur pengelasan FSW tanpa *filler* tidak cukup untuk melunakkan *base metal*. Akan tetapi, suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *weld flash* pada permukaan atas dari *weld nugget* seperti yang terlihat pada pengelasan FSW dengan menggunakan *filler*.

### 3.2 Analisis Struktur Mikro

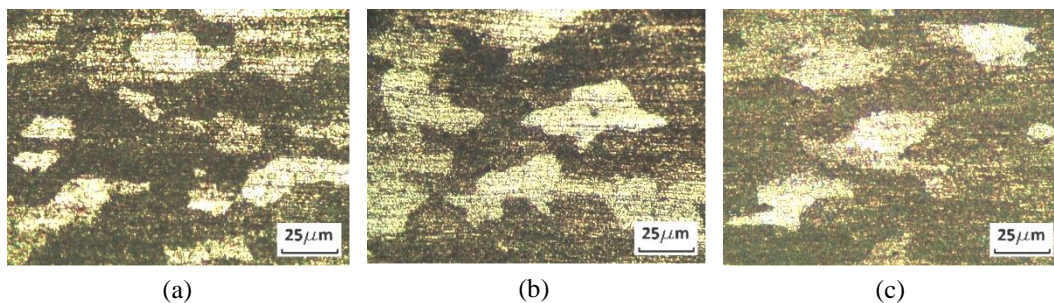
#### a. *Base Metal*



Gambar 4. *Base Metal* Aluminium 6061-T6

*Base metal* adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur maupun sifat pada logam tersebut. Material dari *base metal* adalah aluminium seri 6xxx yang terdiri dari paduan aluminium magnesium ditambah silikon (Al-Mg-Si), sehingga pada hasil uji foto mikro juga menunjukkan adanya batas-batas *grain boundaries* senyawa magnesium silisida  $Mg_2Si$  pada daerah gelap dan Al pada daerah yang terang.

#### b. HAZ



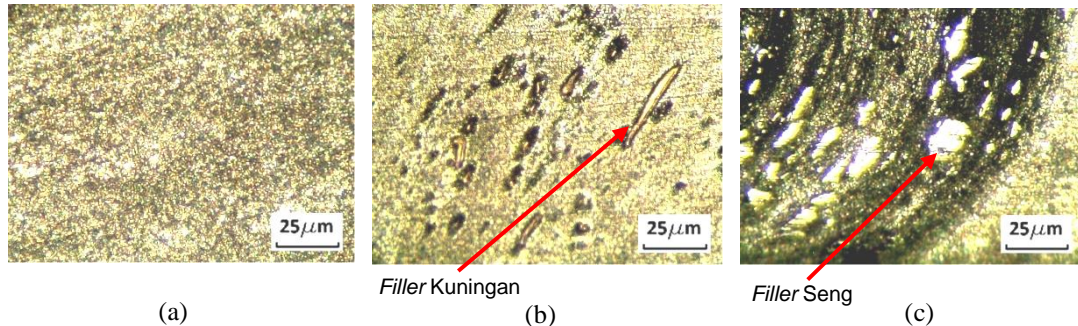
Gambar 5. Daerah *Heat Affected Zone* (a. HAZ FSW Al 6061-T6 Tanpa *Filler*, b. HAZ FSW Al 6061-T6 *Filler* Kuningan, c. HAZ FSW Al 6061-T6 *Filler* Seng)

Hasil uji foto mikro dari pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) material 6061-T6 menunjukkan bahwa daerah HAZ dari masing-masing variabel mengalami pembesaran butiran (*grain growth*) apabila dibandingkan dengan *base metal* nya. Hal ini sangat dipengaruhi oleh besarnya temperatur yang dihasilkan pada saat pengelasan berlangsung. Pengelasan FSW material 6061-T6 *filler* seng, memiliki *grain size* yang paling besar. Hal ini sebanding dengan temperatur



yang dihasilkan pada saat pengelasan yaitu sebesar  $\pm 255,9^{\circ}\text{C}$ , yang merupakan temperatur tertinggi dari variabel yang lain. Pembesaran butir ini akibat pengaruh material aluminium *heat-treatable* yang mengalami *over aging* (Ir. Winarto, 2008).

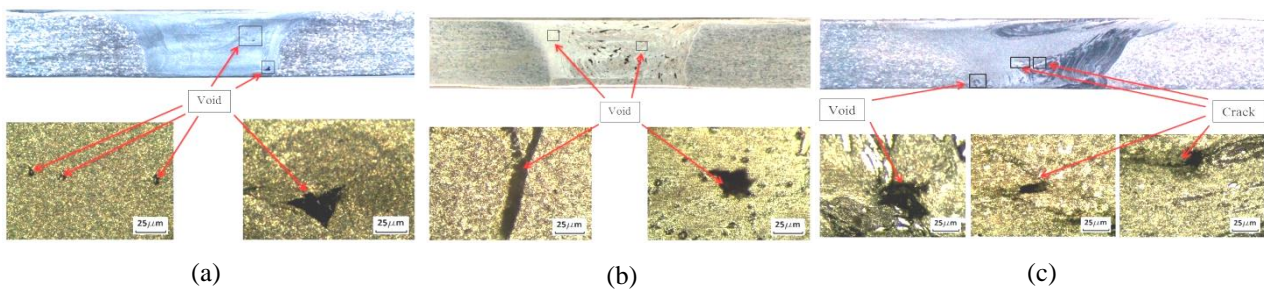
#### c. Weld nugget



Gambar 6. Daerah *Weld Nugget* (a. *Weld Nugget* FSW Al 6061-T6 Tanpa *Filler*, b. *Weld Nugget* FSW Al 6061-T6 *Filler* Kuningan, c. *Weld Nugget* FSW Al 6061-T6 *Filler* Seng)

Dari pengujian foto mikro, pada daerah *Weld nugget* pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) material 6061-T6 tanpa *filler* terlihat adanya butiran-butiran halus dan rapat. Hal ini disebabkan karena adanya deformasi plastis pada butiran-butiran tersebut saat proses pengadukan *shoulder* dan *pin* serta karena panas yang ditimbulkan pada saat pengelasan. Sedangkan pada daerah *weld nugget* pengelasan FSW dengan *filler*, baik *filler* kuningan maupun seng terlihat adanya partikel *filler* halus yang tersebar kedalam matriks aluminium 6061-T6 sehingga membentuk struktur komposit. Struktur komposit yang terbentuk tidak seragam, dimana kepadatan partikel meningkat mendekati permukaan atas.

#### d. Cacat Pengelasan



Gambar 7. Cacat Pengelasan (a. Cacat FSW Al 6061-T6 Tanpa *Filler*, b. Cacat FSW Al 6061-T6 *Filler* Kuningan, c. Cacat FSW Al 6061-T6 *Filler* Seng)

Pengelasan FSW tanpa *filler*, terlihat adanya cacat rongga atau *void*. Hal ini disebabkan karena proses pengadukan material aluminium 6061-T6 yang kurang sempurna, sehingga butiran-butiran material menjadi tidak rata penyebarannya pada seluruh area penyambungan. Pengelasan FSW dengan *filler*, terlihat adanya cacat *void* dan *weld flash* pada *weld nugget*. Cacat ini terjadi karena suhu pengelasan yang terlalu tinggi sehingga material menjadi terlalu lunak dan keluar dari *weld*

*nugget*. Akan tetapi pada pengelasan FSW *filler* seng, juga terlihat adanya cacat *crack* yang timbul karena tidak tercampurnya secara sempurna antara material aluminium 6061-T6 dan *filler* seng.

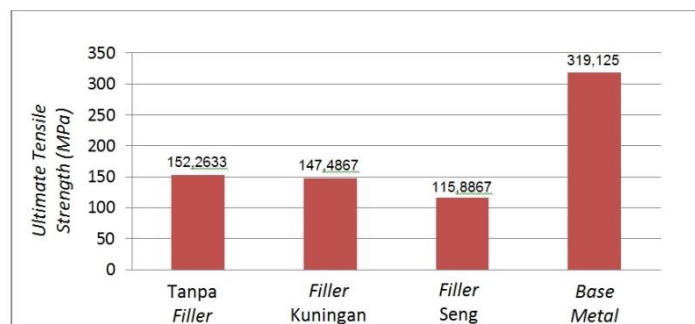
### 3.3 Pengujian Tarik

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Tarik FSW Al 6061-T6 Tanpa *Filler*, *Filler* Kuningan, dan *Filler* Seng

Material	No	Filler	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Strain (%)	Rata-rata Ultimate Tensile Strength (MPa)	Rata-rata Strain (%)	Efisiensi UTS Sambungan (%)	Lokasi Patahan
6061-T6 X 6061-T6	1	Tanpa Filler	153,01	2,91	152,2633	3,3733	47,7127	HAZ Retreating
	2	Tanpa Filler	147,78	4,12				Weld Nugget
	3	Tanpa Filler	156,00	3,09				HAZ Retreating
6061-T6 X 6061-T6	1	Kuningan	145,32	0,78	147,4867	1,3567	46,2160	Weld Nugget
	2	Kuningan	151,88	2,28				HAZ Retreating
	3	Kuningan	145,26	1,01				Weld Nugget
6061-T6 X 6061-T6	1	Seng	97,15	0,90	115,8867	1,0767	36,3139	Weld Nugget
	2	Seng	127,56	1,16				Weld Nugget
	3	Seng	122,95	1,17				Weld Nugget
Base Metal 6061-T6	1	-	316,76	5,48	319,125	5,385	100	Base Metal
	2	-	321,49	5,29				Base Metal

Dari data pengujian tarik pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) aluminium 6061-T6, menunjukkan bahwa pengelasan FSW tanpa *filler* mengalami patahan pada daerah HAZ (*retreating side*). Terjadinya patahan didaerah HAZ karena adanya pengaruh panas saat pengelasan. Sedangkan pengelasan FSW dengan *filler*, mengalami patahan paling banyak didaerah *weld nugget*. Patahan ini terjadi karena terdapat *filler* berukuran besar yang tersebar didaerah *weld nugget*. Sehingga ikatan antara *filler* dengan *base metal* menjadi rendah dan rentan terjadi retakan.

#### a. Tegangan (*Ultimate Tensile Strength*)

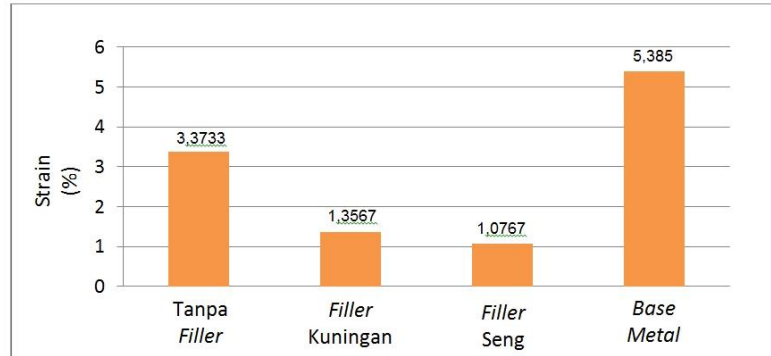


Gambar 8. Hasil Perbandingan *Ultimate Tensile Strength* FSW Al 6061-T6 Tanpa *Filler*, *Filler* Kuningan, dan *Filler* Seng

Grafik hasil uji tarik menunjukkan bahwa kekuatan tarik maksimal telah dicapai pada pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) material aluminium 6061-T6 tanpa *filler*. Dari data pengujian tarik, pengelasan FSW tanpa *filler* memiliki nilai kekuatan tarik rata-ratanya adalah 152,2633 Mpa. Sehingga penggunaan *filler* dalam penelitian ini, dapat menyebabkan terjadinya

penurunan kekuatan tarik sambungan. Menurunnya kekuatan sambungan terjadi karena *filler* tidak dapat teraduk secara sempurna dengan *base metal*, sehingga menyebabkan adanya inklusi (pengotor) yang dapat menurunkan kekuatan sambungan.

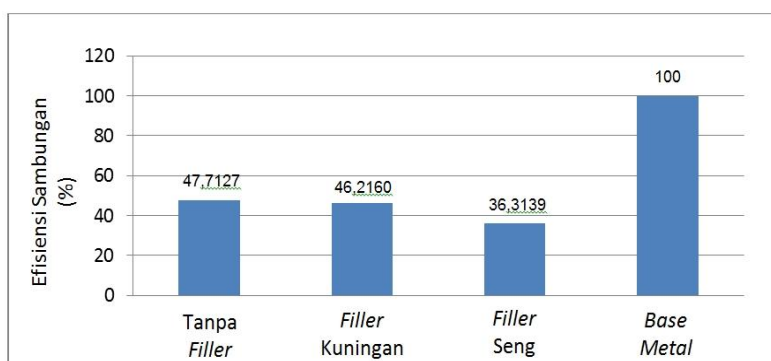
b. Regangan (*Strain*)



Gambar 9. Hasil Perbandingan Regangan FSW Al 6061-T6 Tanpa *Filler*, *Filler* Kuningan, dan *Filler* Seng

Dari grafik regangan, menunjukkan bahwa pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) material aluminium 6061-T6 tanpa *filler* memiliki regangan yang lebih baik bila dibandingkan dengan pengelasan menggunakan *filler* dengan nilai regangan sebesar 3,3733 %. Hal ini dapat dilihat dari patahan saat pengujian tarik, dimana patahan dari spesimen pengelasan FSW material 6061-T6 tanpa *filler* terjadi pada daerah HAZ. Sehingga daerah HAZ ini adalah daerah yang mengalami regangan tertinggi. Sedangkan pada pengelasan FSW dengan menggunakan *filler*, rata-rata patahan terjadi pada daerah *weld nugget*. Dimana pada daerah *weld nugget* ini selain di dominasi oleh butiran-butiran halus akibat deformasi plastis akibat proses pengadukan *tool joint* juga terdapat adanya *filler* yang tidak teraduk secara sempurna, sehingga pada daerah ini regangannya pun lebih rendah bila dibandingkan dengan daerah HAZ karena luas penampang efektif pada daerah *weld nugget* menjadi berkurang.

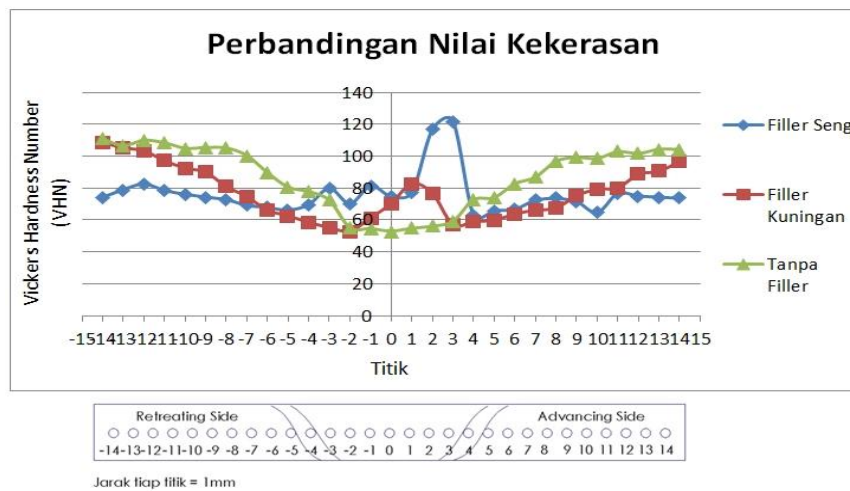
c. Efisiensi Sambungan



Gambar 10. Hasil Perbandingan Efisiensi Sambungan FSW Al 6061-T6 Tanpa *Filler*, *Filler* Kuningan, dan *Filler* Seng

Grafik diatas menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi dimiliki oleh sambungan pengelasan material aluminium 6061-T6 tanpa menggunakan *filler* dengan nilai efisiensi rata-ratanya adalah 47,7127%. Sedangkan pada pengelasan FSW dengan *filler*, menunjukkan efisiensi di bawahnya. Menurunnya efisiensi pengelasan FSW dengan *filler* disebabkan karena *filler* tidak memberikan efek pengikat dengan *base metal*. Sehingga ikatan antara partikel-partikel halus didaerah *weld nugget* pun menjadi berkurang, hal ini ditandai dengan terjadinya patahan yang sebagian besar terdapat pada daerah *weld nugget*.

### 3.4 Pengujian Kekerasan



Gambar 11. Grafik Perbandingan Kekerasan FSW Al 6061-T6 Tanpa *Filler*, *Filler* Kuningan, dan *Filler* Seng

Dari grafik hasil pengujian kekerasan di atas, menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) aluminium 6061-T6 tanpa *filler* mengalami penurunan kekerasan pada daerah *weld nugget* di titik 0 dengan nilai kekerasan sebesar 53,1 HV. Hal ini disebabkan karena terjadinya pelunakan pada daerah pengelasan sebagai akibat panas yang timbul. Sedangkan pengelasan FSW aluminium 6061-T6 dengan menggunakan *filler*, terjadi peningkatan kekerasan yang sangat signifikan pada daerah *weld nugget* nya bila dibandingkan dengan pengelasan FSW tanpa *filler*. Dengan nilai kekerasan sebesar 82,8 HV pada pengelasan *filler* kuningan dan 122,1 HV pada pengelasan *filler* seng. Meningkatnya kekerasan pada daerah *weld nugget* terjadi karena banyaknya *filler* yang tercampur dalam proses FSW. Penggunaan *filler* juga menyebabkan tingginya temperatur pengelasan, sehingga mengakibatkan semakin besarnya daerah HAZ yang ditandai dengan pelunakan didaerah *base metal*.



## 4. PENUTUP

### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- a. Struktur mikro pada daerah HAZ pengelasan FSW aluminium 6061-T6 memiliki luasan butiran yang lebih besar apabila dibandingkan struktur mikro daerah *base metal*. Struktur mikro pada daerah *weld nugget* pengelasan FSW tanpa *filler* terlihat adanya butiran-butiran halus dan rapat sedangkan pengelasan FSW dengan *filler* ditemukan adanya butiran-butiran *filler* yang tersebar kedalam matrik aluminium yang membentuk struktur komposit.
- b. Pengelasan FSW aluminium 6061-T6 tanpa *filler* memiliki kekuatan tarik yang tertinggi yaitu sebesar 152,2633 Mpa dengan regangannya sebesar 3,3733 %. Sedangkan pada pengelasan dengan menggunakan *filler* mengalami penurunan kekuatan tarik dan regangannya.
- c. Nilai kekerasan pada pengelasan FSW aluminium 6061-T6 tanpa *filler* mengalami penurunan kekerasan didaerah *weld nugget* nya sedangkan pada pengelasan FSW dengan menggunakan *filler* terjadi peningkatan kekerasan didaerah *weld nugget*, akan tetapi daerah HAZ nya menjadi lebih luas.
- d. Pada pengelasan FSW aluminium 6061-T6 tanpa menggunakan *filler* memiliki kekuatan tarik yang lebih baik dan patahannya terjadi pada daerah HAZ yang disebabkan karena pembesaran butiran akibat pengaruh panas. Sedangkan pada pengelasan dengan *filler* memiliki kekuatan tarik yang rendah dan patahannya berada didaerah *weld nugget* yang disebabkan karena masih terdapat banyak *filler* yang berukuran besar yang menjadi inklusi pada daerah *weld nugget*.

### 4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian pengelasan FSW yang telah dilakukan, penulis menyarankan beberapa hal antara lain:

- a. Material yang akan dilas dengan metode *Friction Stir Welding* (FSW) harus dicekam sekuat mungkin dengan menggunakan *clamping*.
- b. Material *tool joint* harus lebih keras dan tahan aus dari material yang akan dilas.
- c. Penetrasi awal dilakukan secara pelan-pelan, karena temperatur pengelasan yang dihasilkan oleh gesekan antara *pin* dan material masih rendah.
- d. Perlunya dilakukan pengecekan kondisi *tool pin*, setelah proses pengelasan selesai supaya hasil pengelasan selanjutnya dapat semaksimal mungkin.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials, 2001, "*Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*", ASTM, E3-01.
- American Society for Testing and Materials, 2002, "*Standard Test Methods for Microindentation Hardness of Material*", ASTM, E384-99.
- American Society for Testing and Materials, 2003, "*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material*", ASTM, E8M-04.
- Askeland, Donald R.; Phulé, Pradeep P., 2002, "*The Science and Engineering of Materials*", Thomson-Engineering, U.S.A. to United Kingdom.
- Babu, K.T., Kumar, P. K., Muthukumaran S., 2014, "*Mechanical, Metallurgical Characteristics and Corrosion Properties of Friction Stir Welded AA6061-T6 Using Commercial Pure Aluminium as a Filler Plate*".
- Esmaili, A., Givi, M. K. B., Rajani, H. R. Z., 2001, "*A Metallurgical and Mechanical Study on Dissimilar Friction Stir welding of Aluminum 1050 to Brass (CuZn30)*".
- Kuang, B., Shen, Y., Chen, W., Yao, X., Xu, H., Gao, J., Zhang, J., 2014, "*The Dissimilar Friction Stir Lap Welding of 1A99 Al to Pure Cu Using Zn as Filler Metal with Pinless Tool Configuration*".
- Mandal, N.R., 2005, "*Aluminium Welding, 2nd.*", Narosa Publishing House Pvt, Ltd, New Delhi, India.
- Okumura T. & Wiryosumarto H., 1996, "*Teknologi Pengelasan Logam*", Pradnya Pramita, Jakarta.
- Polmear, I. J., 1995, "*Light Alloys*", Arnold.
- Sugito, B., Anggono, A. D., Prasetyana, D., 2016, "*Pengaruh Kedalaman Pin (Depth Plunge) Terhadap Kekuatan Sambungan Las pada Pengelasan Gesek AL 5083*".
- Winarto, 2008, "*Rangkuman Diskusi Aluminium Properties Post Welding*". Diakses 10 Mei 2006 dari migas-indonesia.

Zheng, Q., Feng, X., Shen, Y., Huang, G., Zhao, P., 2016, “*Dissimilar Friction Stir Welding of 6061 Al to 316 Stainless Steel Using Zn as a Filler Metal*”.